



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ROBOTIZOVANÉ NANÁŠENÍ LEPIDLA NA MALÉ DÍLY

ROBOTIZED GLUE APPLICATION ON SMALL PARTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Johec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

BRNO 2021

Zadaní bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Tomáš Jochec
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Jan Vetiška, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Robotizované nanášení lepidla na malé díly

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při stále zvětšujícím se tlaku na produktivitu práce, je jednou z možností, jak tohoto dosáhnout robotizace rutinních činností. Jednou z takových je nanášení lepidla. Cílem práce je zjistit aktuální stav dané problematiky a poznatky aplikovat na simulační úloze.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše dané problematiky.
Systémový rozbor řešené problematiky.
Digitální zprovoznění robotizovaného pracoviště.
Vyhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, Bruno a Oussama. KHATIB. Springer handbook of robotics. Berlin: Springer, 2008. ISBN 978-3-540-23957-4.

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie: 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-802-1448-285.

NOF, Shimon Y. Springer handbook of automation. 1. New York: Springer, 2009. ISBN 978-354-07-8-300.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce mapuje současný stav robotiky ve světě a je zaměřena na téma robotizovaného nanášení lepidel na malé díly. Hlavním cílem je vypracování návrhu pracoviště, využívajícího práce robota a jeho následné digitální zprovoznění. Práce je členěna do čtyř částí. První částí je rešerše, která pojednává o současné problematice robotů a dávkovacích systémů. Druhou částí je systémový rozbor, kde se aplikují poznatky z rešeršní části na vytváření robotizovaného pracoviště. Ve třetí části probíhá digitální zprovoznění pracoviště, a to prostřednictvím softwaru RobotStudio. Konec práce je věnován diskusi a závěru dosažených cílů.

ABSTRACT

This bachelor thesis highlights the current state of robotics in the world and is focused on the application of glue on small parts by robots. The main goal is to develop a design for the workplace, using the work of a robot and its further digital commissioning. The work is divided into four parts. The first part is a literature search that deals with current issues of robots and dosing systems. The second part is a system analysis, where we apply the knowledge from the editorial part to the creation of a robotic workplace. In the third part, the digital commissioning of the workplace using RobotStudio software takes place. The end of the work is devoted to the discussion and conclusion of the achieved goals.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kulová skleněná klika, robotizované nanášení lepidla, ABB robot, komorový dávkovací ventil, software RobotStudio, technologické výstupní hlavice

KEYWORDS

Glass ball knob handle, robotic glue application, ABB robot, chambre dosing valve, RobotStudio software, technological output head

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JOCHEC, Tomáš. *Robotizované nanášení lepidla na malé díly* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129534>.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Vetiška.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Janu Vetiškovi, Ph.D. za podnětné konzultace, které mě vždy posunuly o veliký kus dopředu, také za jeho trpělivost a včasné odpovědi na dotazy.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Vetišky, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 21. května 2021

.....

Tomáš Johec

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	17
2.1	Automatizace průmyslu	17
2.2	Největší firmy s roboty	19
2.2.1	Společnost ABB	20
2.3	Kolaborativní roboti.....	20
2.4	Komponenty robotizovaného pracoviště a lepícího dávkovacího systému	21
2.5	Předzásobení materiálem	22
2.5.1	IBC kontejnery	22
2.5.2	Sudy	22
2.5.3	Tlakové nádoby	22
2.6	Čerpadla	23
2.6.1	Zubová čerpadla	23
2.6.2	Pístová sudová čerpadla.....	23
2.7	Efektory	24
2.7.1	Technologické výstupní hlavice	24
2.7.2	Volba vhodného dávkovacího systému	26
2.7.3	Manipulační výstupní hlavice.....	27
2.7.4	Porovnání ejektoru a vývěvy	28
2.8	Řídící jednotky.....	30
3	SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	31
3.1	Popis výrobku	31
3.1.1	Skleněná část	32
3.1.2	Podstava.....	33
3.2	Paletky na podstavu a skleněnou část	34
3.3	Návrh efektoru	35
3.4	Sestava lepícího dávkovacího systému.....	35
3.5	Výběr robota	36
3.6	Kontrolér robota a FlexPendant.....	37
4	VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ	38
4.1	Návrh pracoviště	38
4.1	Tvorba programu	39
4.1.1	Popis vytvořeného programu.....	39
5	ZHODNOCENÍ A DISKUZE	41
6	ZÁVĚR.....	42
7	BIBLIOGRAFIE	43
8	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	46
8.1	Seznam zkratk	46
8.2	Seznam obrázků.....	46
8.3	Seznam tabulek	46
9	SEZNAM PŘÍLOH	47

1 ÚVOD

V dnešním světě se klade důraz na rychlost, kvalitu, spolehlivost, a proto se ukazuje automatizace jako jedna z cest, která tyto podmínky splňuje. Průmyslové roboty mají řadu výhod, dokážou pracovat 24 hodin denně, 7 dní v týdnu, čímž předčí lidskou pracovní sílu. Dále taky oproti člověku jsou vhodnějšími kandidáty na práci v nebezpečných podmínkách. Automatizace je velice rozsáhlý proces a celkově ji pojmout by bylo velice náročné, proto se v této bakalářské práci budeme zabývat užším okruhem, a to robotizovaným nanášením lepidel na malé díly.

Nanášení lepidel je složitý proces, který se stále v mnoha odvětvích provádí ručně, což není vždy úplně vhodné z hlediska rovnoměrného nanesení lepidla, a proto je snaha využít pro tuto práci roboty, kteří ji zvládnou konzistentněji. Také je zde i druhý aspekt, že z lepidel se často vypařují toxické látky, které jsou zdraví škodlivé, a je účelné a žádoucí nahradit člověka strojem. Záleží ovšem také na aplikaci a množství použité dávky.

Celkově se robotika stává v poslední době více diskutovaným tématem, čemuž přispívá nárůst počtu vyrobených robotů a s tím i spojené větší podvědomí lidí o tomto tématu. Takovým novým trendem, který zaznamenává vysoký nárůst, je použití kolaborativních robotů, tedy robotů, které jsou určeny pro práci a spolupráci s člověkem.

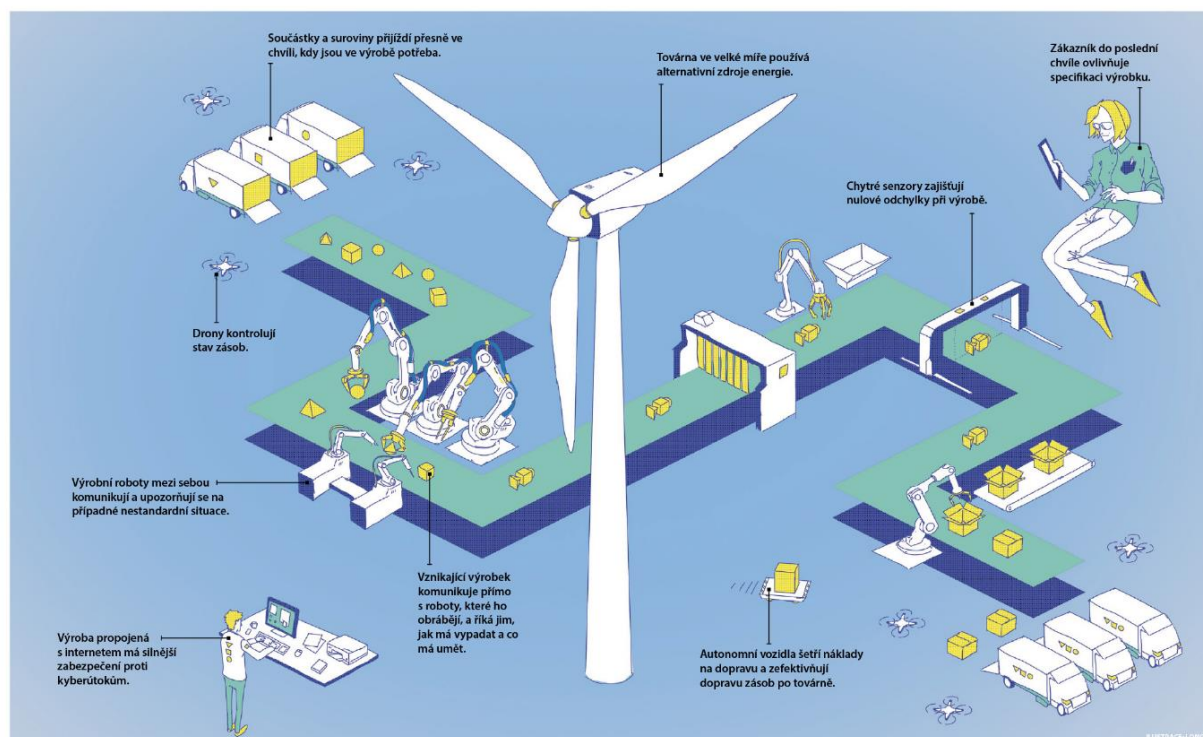
Hlavní náplní této bakalářské práce je vytvoření modelu pracoviště, určeného pro robotizované nanášení lepidla na malé díly a jeho digitální zprovoznění. Na pracovišti se bude lepit klika od dveří, kulového tvaru, která bude složena ze dvou dílů. Z ocelové podstavy a skleněné kulové části. Tyto dva díly budou k sobě slepeny za pomoci kolaborativního robota. Před samotným návrhem pracoviště bude vypracovaná rešerše dané problematiky a získané poznatky se aplikují na systémový rozbor řešené problematiky. Dále se provede digitální zprovoznění pracoviště v simulačním softwaru RobotStudio a na závěr se vyhodnotí dosažené výsledky.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 Automatizace průmyslu

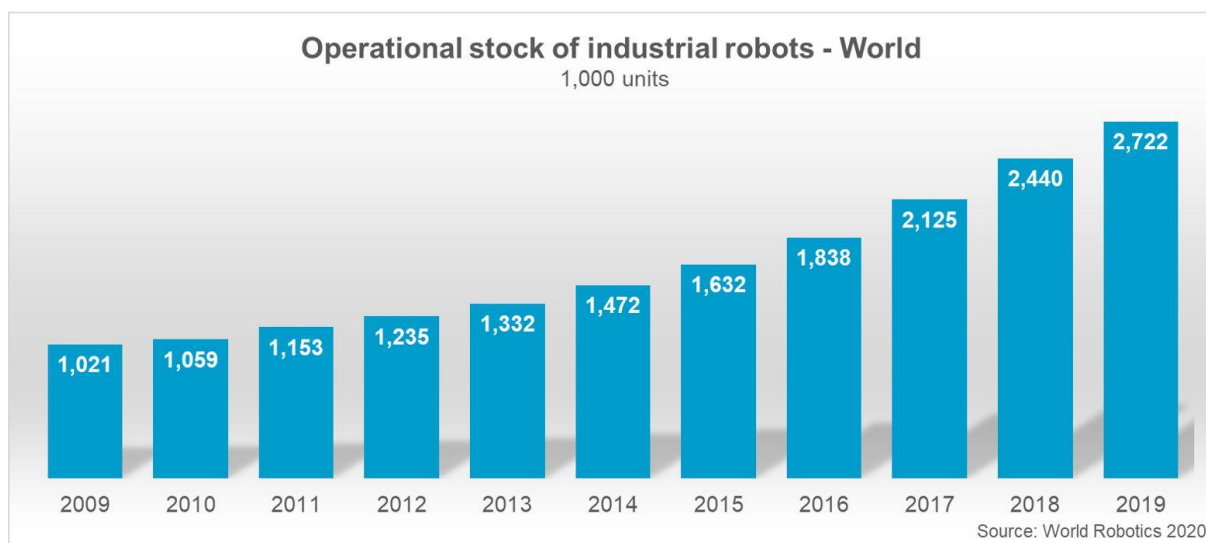
V současném světě je téma automatizace velice aktuální, hovoří se o konceptu Průmysl 4.0. Tento koncept vychází z představy propojení výrobního procesu, datových toků a člověka. Intelligentní stroje jsou v takovémto konceptu propojeny s datovými uložišti, kde jsou shromažďována data z výroby, která jsou následně počítačem vyhodnocována. Pro takovéto propojení se používá pojem “Chytrá továrna” (viz. obr 1.). Chytrá továrna umí autonomně řídit, zefektivnit výrobu a zároveň v ní přirozeně komunikují stroje s člověkem. [1] V praxi je představa taková, že je instalováno mnoho čidel, pohybových senzorů a kamer, skrze které se shromažďují informace o výrobním procesu, které jsou následně vyhodnocované. Výrobek komunikuje s roboty, které ho nějakým způsobem opracovávají, přemísťují a dává jim instrukce, jak by měl vypadat po zpracování. Roboti jsou vzájemně propojeni a upozorňují se na nestandardní situace, které pak intuitivně řeší. Je také snaha dosáhnout toho, aby se po vzoru člověka dokázal robot učit a zdokonalovat. [2]

Je potřeba dodat, že chápání konceptu Průmyslu 4.0 ve světě je různé. Státy s vyspělou ekonomikou jako Německo, Belgie, Japonsko, Jižní Korea atd. definují Průmysl 4.0 především ve vztahu ke kyberneticko-fyzickým systémům. Ekonomiky, které řeší v současnosti strukturální a transformační otázky jej chápou mnohem obsáhleji. Vnímají to jako vizi do budoucna, ke které chtějí směřovat a přizpůsobovat k ní technologie. Takovými zeměmi jsou Francie, Itálie, Španělsko a Portugalsko. Pak jsou tu země, u kterých není zřejmé, jak to vnímají, mezi ně patří Česká republika. Obecně je však přijímán originální německý koncept Industrie 4.0 tzn.: všeobecná propojenost výrobního prostředí a jeho okolí prostřednictvím kyberneticko-fyzických systémů. [3]

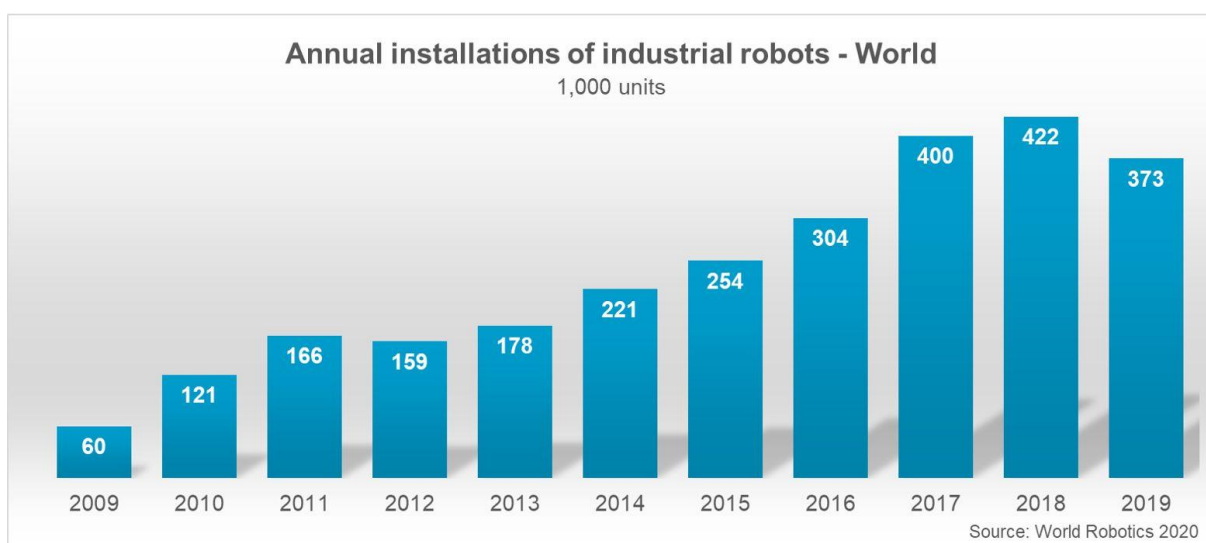


Obr. 1) Chytrá továrna [2]

Automatizace světově stále roste, o tom svědčí zpráva World Robotics 2020 Industrial Robots, podle které je ve světě nainstalováno 2,7 milionu průmyslových robotů (viz. obr. 2). Za rok 2019 bylo celosvětově prodáno 373 000 kusů robotů (viz. obr. 3), což představuje 12% meziroční nárůst a je to zároveň 3. nejvyšší objem prodeje, jaký byl meziročně zaznamenán. V porovnání s rokem 2018 je to však pokles o 12 %, to však nic nemění na tom, že instalace průmyslových robotů meziročně roste a celosvětový nárůst během pěti let byl přibližně o 85 % (2014-2019). Zmíněný pokles je jen odrazem problémů ve dvou hlavních zákaznických odvětvích, a to sektory automobilové výroby a elektrotechniky. [4] V budoucnu se očekává opětovný nárůst instalace robotů, k čemu dopomáhá i současná koronavirová krize, která způsobuje výpadek pracovní síly, a tak jsou roboty vhodná alternativa pro řešení tohoto problému. [5]

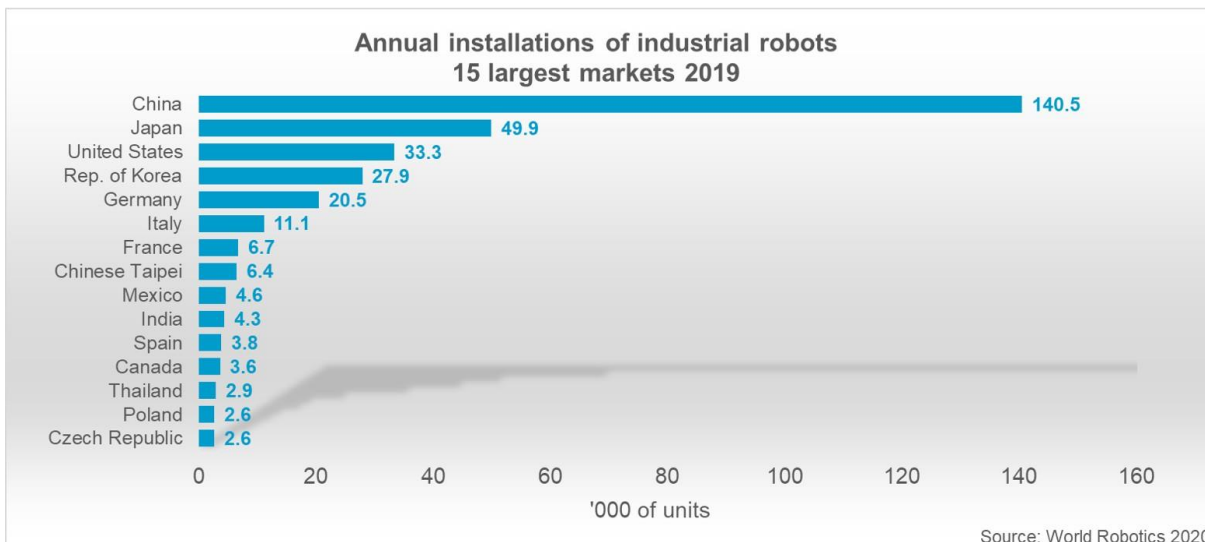


Obr. 2) Počet celosvětově nainstalovaných robotů [6]



Obr. 3) Roční celosvětová instalace průmyslových robotů [7]

Největší trh průmyslových robotů je v Asii. Hlavním tahounem je Čína, kde v roce 2019 stoupl počet instalací o 21 %. Druhým odbytištěm je Japonsko s přibližně 355 000 jednotkami. Zajímavě se také vyvíjí situace v Indii, kde se během pěti let zdvojnásobil počet průmyslových robotů a manipulátorů a již jich tam je okolo 26 300. V Evropě v roce 2019 bylo nainstalováno okolo 580 000 jednotek, meziročně to činí nárůst o 7 %. Hlavním uživatelem je Německo s 221 500 roboty v průmyslu. Dále pak Itálie a Francie. Česká republika je na tom také velice dobře, dle publikované zprávy IFR drží 15 pozici ve světovém trhu s robotikou. V souhrnu je v České republice nainstalováno asi 2600 robotů. [4]



Obr. 4) Roční instalace průmyslových robotů na 15 největších trzích [4]

2.2 Největší firmy s roboty

Trh s roboty je velice dynamický a je tak náročné určit, která z firem drží prvenství lídra v této disciplíně. Souvisí to také s firmami, které tyto informace nějak zvlášť nezveřejňují, tak se často jedná pouze o odhady. Analytici, kteří tyto informace zpracovávají a následně sestavují žebříčky, vychází buď z výročních zpráv firem, tržní kapitalizace nebo počtu zaměstnanců atd. Co do příjmu z prodeje robotů podle Statista Research Department drží toto prvenství Mitsubishi Electric s příjmem více než 11 miliard eur za fiskální rok 2019. [8] Podle Analytického webu Insider Monkey je zase hlavní hráč Honda Motor. [9] Názory se tedy liší a vždy záleží na tom co všechno do dané statistiky bylo zahrnuto. Podle Market Research Reports, se kterým tak nejvíce souzním, tak za rok 2020 patří mezi předního světového výrobce průmyslové robotiky firma ABB, na dalších místech se umístila pak The Yaskawa Electric Corporation, Media Group atd. [10]

Top 5 největších výrobců robotů (Market Research Reports)

- ABB
- The Yaskawa Electric Corporation
- Midea Group (KUKA)
- The Fanuc Corporation
- Kawasaki Heavy Industries

2.2.1 Společnost ABB

Z předešlého průzkumu vyplývá, že společnost ABB je přední výrobce robotů na světě, což je vhodný předpoklad k tomu se o tuto firmu zajímat a od ní se učit novým znalostem. Vzhledem k tomu, že simulační úloha bude probíhat v RobotStudiu, což je software od této společnosti určený k programování dráhy robotů, považují za vhodné si tuto společnost krátce představit.

Společnost ABB je firma s dlouholetou tradicí, za její zrození se pokládá rok 1883, kdy její základy položil Ludvig Fredholm založením společnosti Elektriska Aktiebolaget ve Stockholmu. Do České republiky se formálně dostala již pod názvem ABB v roce 1992. [11] Společnost se celosvětově dělí do čtyř částí. Elektrotechnika, Procesní automatizace, Pohony, Robotika a Automatizace. [12] V rámci Robotiky má širokou nabídku, nabízí průmyslové roboty, kolaborativní roboty, řídicí systémy, aplikační softwary, již zmíněný software k programování robotů – RobotStudio atd. [13]

2.3 Kolaborativní roboti

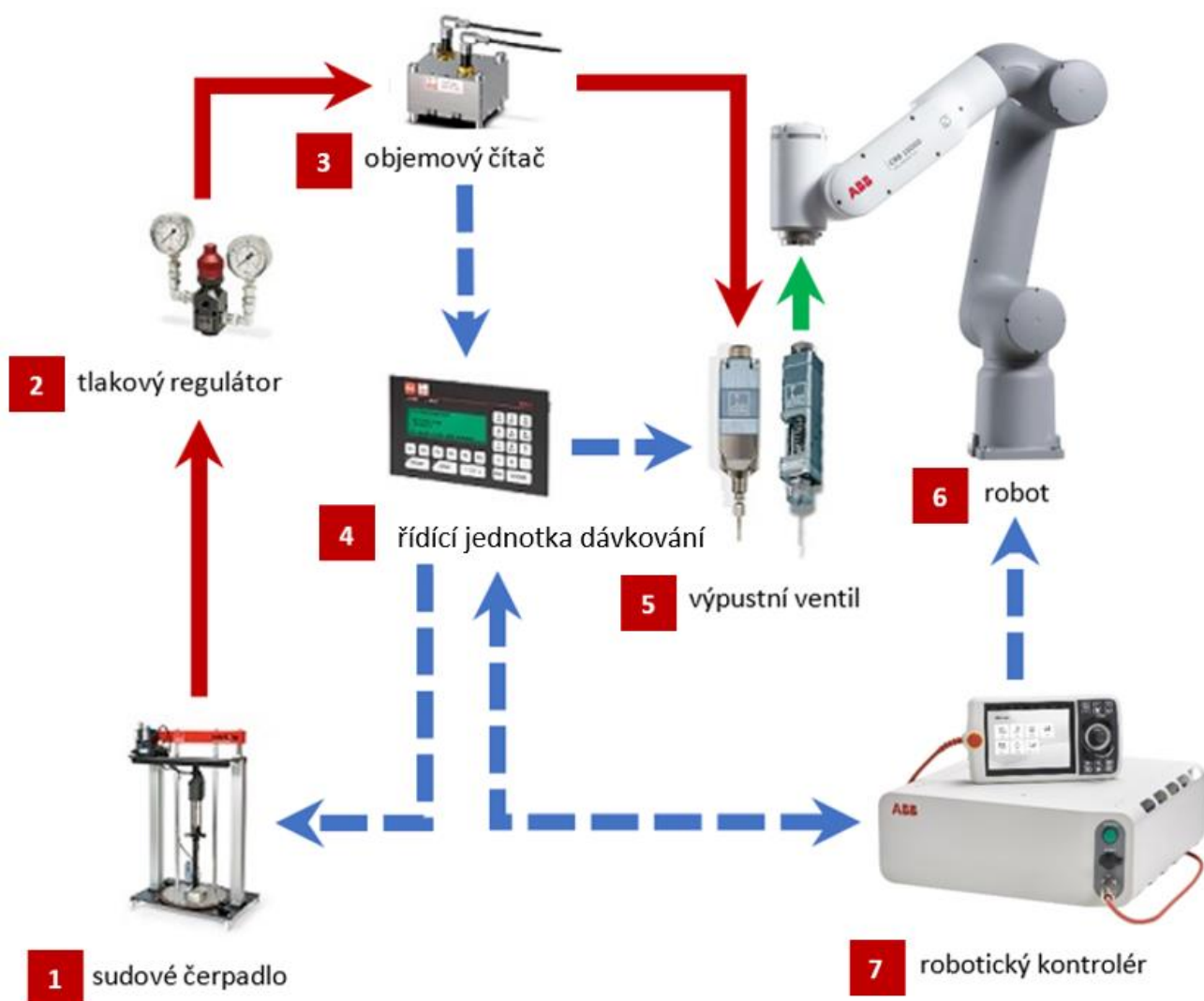
Tím pravděpodobně největším trendem dneška je spolupráce robot - člověk. Některé aplikace se nedají zcela nahradit roboty, tak se využívá kombinace stroje a člověka, která má pochopitelně za úkol lidem ulehčit práci a zefektivnit výrobní proces. Stroje mají zpravidla větší sílu a tak se hojně využívají při zvedání těžkých předmětů, kdy člověk je jen naviguje a to ať rukou nebo různými ovladači. Zkráceně stroj vykonává činnost, která je lehce automatizována a člověk například jen připravuje polotovary, nebo vykonává činnost, která by za použití strojů nebyla rentabilní. Takové roboty označujeme za kolaborativní roboty (koboty). Oproti konvenčním robotům nemusí pracovat v kleci, která by zamezila styku s člověkem. Důvodem je, že koboty jsou osazeny senzory, které v případě blízkosti člověka zpomalí svůj pohyb, případně úplně zastaví. Takovými senzory jsou například momentové senzory, které dokážou okamžitě zastavit pohyb robota, pokud dojde k nárazu, tedy překročení přípustného tlaku, než který je nastavený. V budoucnu se očekává, že před plnou robotizací továren bude předcházet fáze spolupráce člověka a robota. [14]

O tom že tento trend je na vzestupu a je firmami žádán svědčí čísla instalovaných kolaborativních robotů (kobotů). Celková instalace kobotů vzrostla v roce 2019 o 11% a v souhrnu se v tomto roce nainstalovalo 18 000 kobotů. Tržní podíl pak dosáhl 4,8% kobotů z celkového počtu 373 000 průmyslových robotů nainstalovaných v roce 2019. [4]

2.4 Komponenty robotizovaného pracoviště a lepicího dávkovacího systému

Na Obr. 5 je vidět typické pracoviště určené k nanášení lepidla, které se skládá ze základních komponent jako je:

- 1) sudové čerpadlo
- 2) tlakový regulátor
- 3) objemový čítač
- 4) řídicí jednotka dávkování
- 5) výpustní ventil
- 6) robot
- 7) robotický kontrolér



Obr. 5) Schéma dávkovacího systému lepidel [13], [15]

2.5 Předzásobení materiálem

Během lepení je potřeba mít neustále dostatečnou zásobu lepidla a k tomuto účelu se využívají různé nádoby. V praxi se materiál nejčastěji skladuje v kontejnerech, nebo sudech, případně v tlakových nádobách.

2.5.1 IBC kontejnery

Výhodou skladování lepidla v IBC kontejneru (obr. 6 a) je poměrně velký objem až 1000 l, což pro malosériové využití postačuje, ale i větší firmy tento typ skladování mohou využít, záleží na typu aplikace. Další výhodou je snadná manipulovatelnost, kdy s paletovým vozíkem kontejner lehce přemístí i člověk. Nevýhodou IBC kontejnerů může být, že lepidla s větší viskozitou se obtížněji z kontejneru dostávají.

2.5.2 Sudy

V případě menších objemů je vhodné použít zásobení v podobě ocelových sudů. Tady je výhodou, že lze skladovat i lepidla, které reagují s plasty.

2.5.3 Tlakové nádoby

V případě viskóznějších lepidel je vhodné použít tlakové nádoby (obr. 6 b). Z takových nádob se lepidla lépe vyprazdňují, a to z důvodu použitého tlaku.



Obr. 6) a) IBC kontejnery [16], b) Tlaková nádoba [17]

2.6 Čerpadla

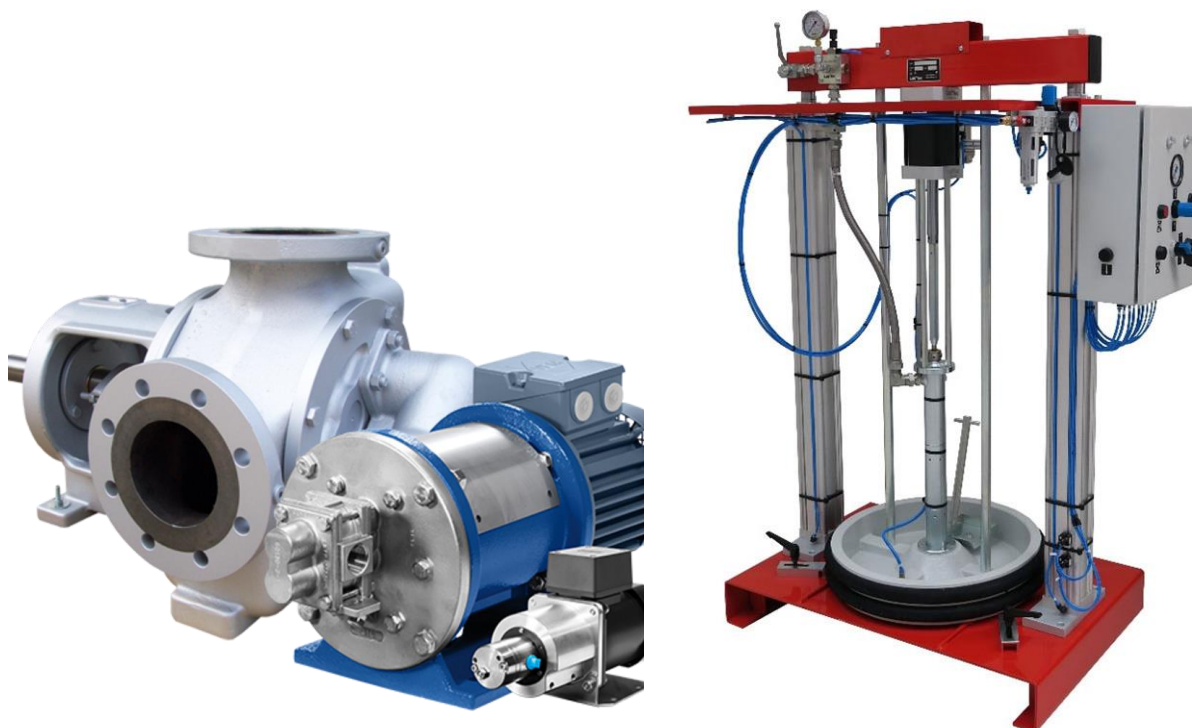
K dopravě lepidel přes hadice k efektoru se využívají čerpadla. Nejčastěji to jsou čerpadla zubová, nebo pístová.

2.6.1 Zubová čerpadla

Je velice vhodné pro vysoce viskózní materiály, ale i pro tekutiny s různou viskozitou. Výhodou takových čerpadel, je že průtok je konstantní a nedochází k pulzování, proto se takové čerpadla využívají i k dávkování. Zubová čerpadla (obr. 7 a) jsou vynikající pro čerpání kapaliny s pevnými nečistotami a zároveň pro média bez mazací schopnosti. [18]

2.6.2 Pístová sudová čerpadla

Sudová čerpadla (obr. 7 b) jsou obecně určená k čerpání materiálu přímo ze sudu. Využívají se k dopravě jedno komponentních materiálů, jako jsou polyuretany, epoxidová lepidla, oleje, mazací tuky. Zvládají čerpat materiál s viskozitou až 5 000 000 mPa·s. Čerpadla se skládají z motoru a dvojčinného pístového čerpadla, které dopravuje materiál v obou směrech, jak nahoru, tak dolů. Důležitým prvkem sudového čerpadla je stírací membrána, která stírá materiál ze stěn a zabraňuje proniknutí vzduchu do lepidla a tím jeho zatvrdnutí. Obsahují senzor, který sleduje hladinu lepidla a zabraňuje totálnímu vyprázdnění a nasátí vzduchu čerpadlem. V případě dosažení kritické hladiny tento senzor čerpadlo vypne. [19]



Obr. 7) a) Zubové čerpadlo [18], b) Pístové sudové čerpadlo [19]

2.7 Efektory

Robot je zpravidla zakončen nějakým pracovním ústrojím, které se nazývá koncový efektor. Efektorů je mnoho druhů a podle konstrukčního hlediska je rozdělujeme na výstupní hlavice:

- technologické
- manipulační
- kombinované
- speciální

Z hlediska zadání této bakalářské práce nás zajímají zejména výstupní hlavice technologické a manipulační. [20]

2.7.1 Technologické výstupní hlavice

Typickou aplikací technologické výstupní hlavice je elektrické svařování, ale využívá se i při jiných aplikacích, jako nanášení lepidel apod. Technologie výstupní hlavice se tedy dělí na výstupní hlavice pro:

- tavné elektrické svařování
- stříkání ochranných a nátěrových hmot
- obrábění náradí uzpůsobeného obsluhou
- montážní práce, do kterých patří:
 - prostá montáž
 - lepení
 - kontrolní operace
 - speciální práce

Z hlediska tohoto rozdělení nás zajímají výstupní hlavice určené pro montážní práce a konkrétně pro lepení. [20] Pro lepení se využívají bodové ventily, vysokorychlostní ventily, jehlové dávkovací ventily, komorové dávkovací ventily, výpustné ventily, anebo sprejové ventily viz. Obr. 8. [21]

Jehlové dávkovací ventily

Jsou vhodné pro bodové aplikace nanášení materiálu s širokou škálou viskozity. Jsou vhodné pro ruční i robotizované aplikace. Jak z názvu vyplývá, jedná se o ventily, které dokážou dávkovat velmi malé množství media, od 0,001 ml do objemu 3 ml. Ventil se skládá ze dvou částí hnacího válce a jehly, které jsou konstrukčně oddělené a díky tomu materiál nepronikne do hnacího válce a nebrání tak pohybu jehly ventilu. Toto konstrukční řešení dělá ventil velice spolehlivým a nenáročným na údržbu. Velikost dávky je určena objemem komory ventilu, která se reguluje dorazovým šroubem. Ovládání dávkování je možné dvěma způsoby a to pneumaticky, nebo elektricky za pomoci elektromagnetickým ventilem. [21]

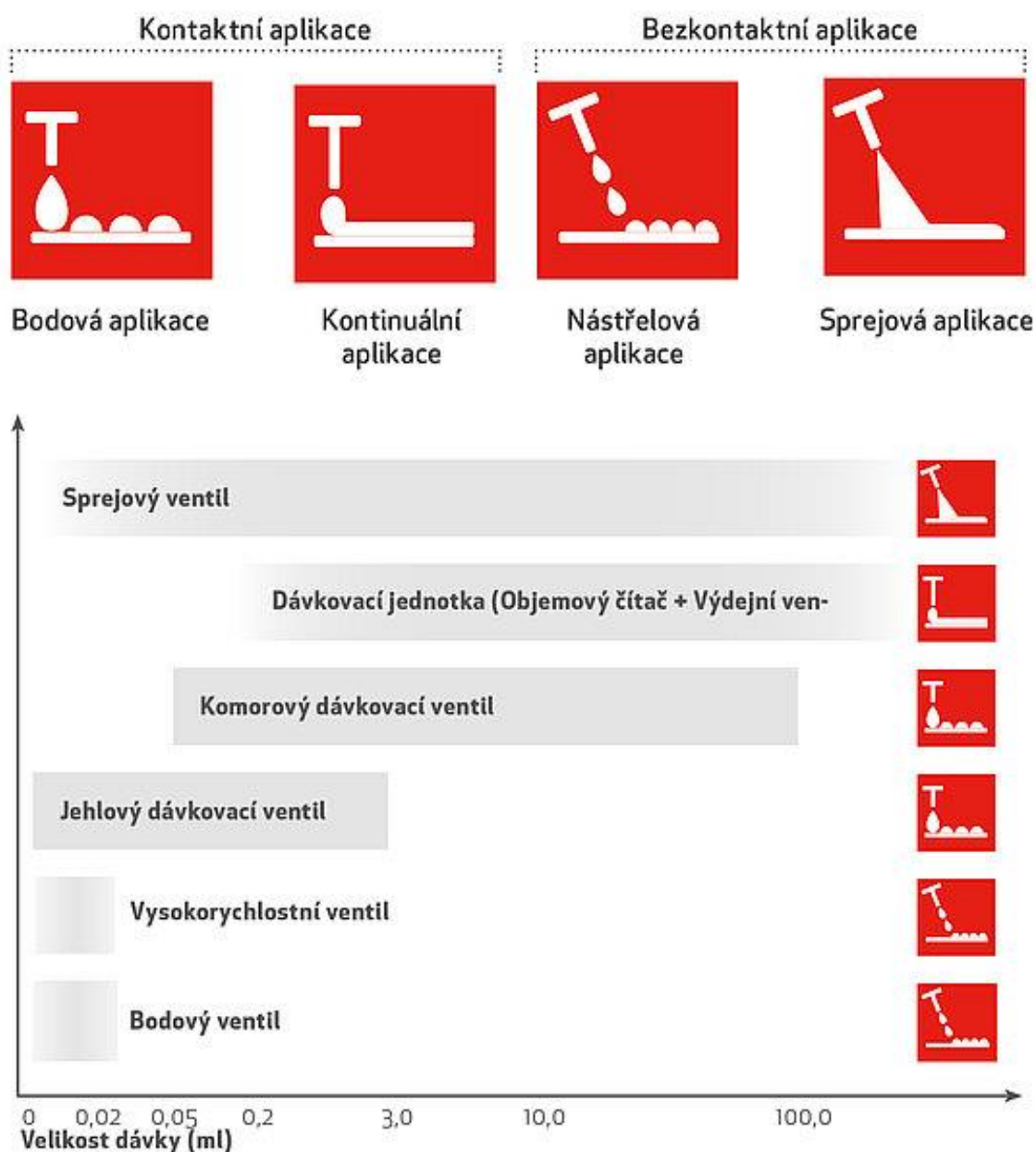
Komorové dávkovací ventily

Používají se při bodovém nanášení materiálu, ale dokáže nanášet i krátké housenky, jak s nízkou, tak vysokou viskozitou. Oproti jehlovým dávkovacím ventilům mají široký záběr ve velikosti dávek. Odkapávání materiálu mezi dávkami se řeší pomocí mechanismu zpětného vsání. Tak je lepidlo nanášeno jen tam, kde je potřeba a nedochází k znečištění komponent, které nejsou lepeny. Množství jedné dávky je dáno velikostí komory a případně se dále reguluje pomocí dorazového šroubu.

Toto řešení je velice elegantní a přímo vhodné pro dávkování malých množství do 100 ml a také pro časté opakování krátkých dávkovacích cyklů. Ventily se používají jak pro ruční aplikace, tak pro nanášení lepidel roboty. Dávkovací cyklus se ovládá buď elektricky s elektromagnetickým ventilem, nebo pneumaticky. [21]

Výpustné ventily

Je ventil, který se pouze otvírá a zavírá, zatímco dávkování probíhá pomocí tlaku od čerpadla. Jsou vhodné pro dávkování materiálem s viskozitou až do 1 000 000 mPa·s a pro dávkování tlakem mezi 150 a 250 bar. [21]



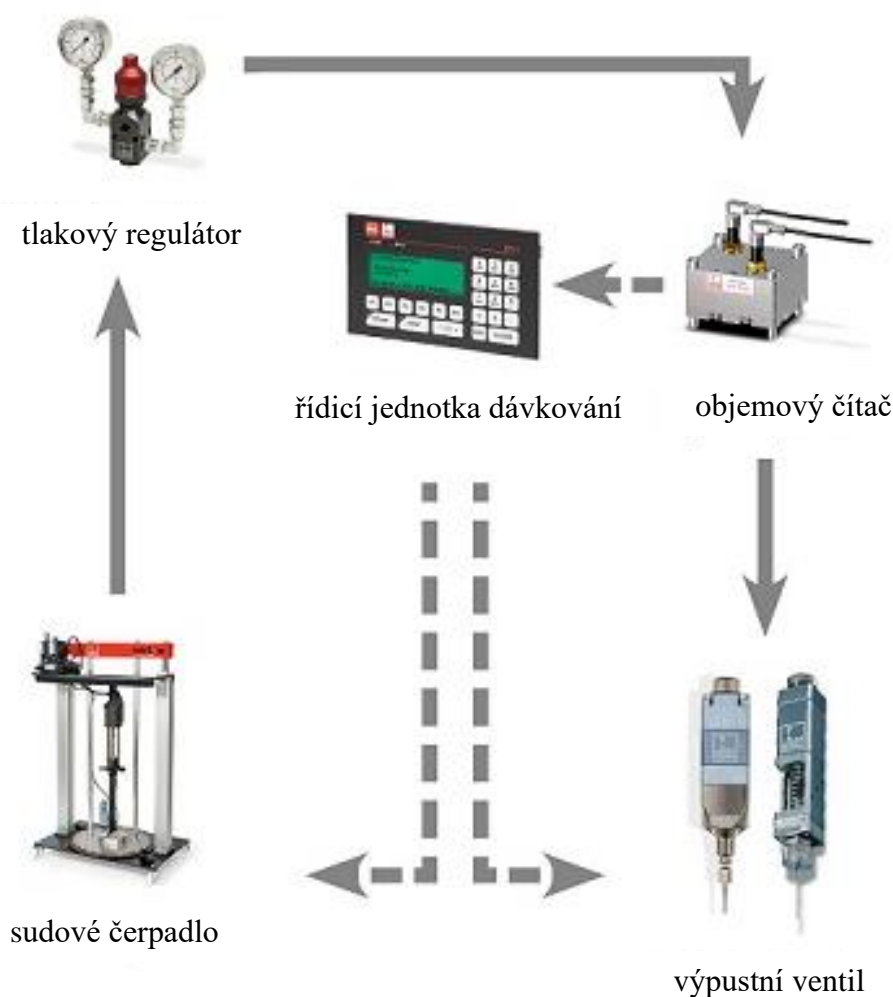
Obr. 8) Velikost dávky v závislosti na druhu ventilu [21]

2.7.2 Volba vhodného dávkovacího systému

Pro aplikaci lepidel se prakticky nabízí dva způsoby řešení dávkovacího systému: komponentní sestava s výpustním anebo komorovým ventilem. Výběr systému závisí od aplikace, od velikosti dávky, a zda se bude nanášet konstantní nebo opětovně se měnící množství.

Komponentní sestava s výpustním ventilem

Základem sestavy (obr. 9) je čerpadlo, redukční ventil a výpustní ventil. Dávkování probíhá za pomoci tlaku vyvinutého na materiál čerpadlem a výpustní ventil se pouze otevírá a zavírá. Když je výpustní ventil otevřený, proteče skrze něj určitý objem materiálu, za určitý čas, a to se nazývá dávkování tlakem a časem. Výhodou takovéto sestavy je řídicí jednotka, ve které se pohodlně naprogramuje velikost dávky a zároveň se v ní celý systém dá velice rychle změnit. Z toho plyne, že tato sestava je výhodná pro případy, kdy se dávkují různé objemy a systém je potřeba často přenastavit. Nevýhoda sestavy je přesnost a horší opakovatelnost dávky. Při opakování dávky se musí počítat s tolerancí $\pm 20\%$ objemu dávky, a to není vždy žádoucí. Tohle však ovlivňují faktory jako viskozita media, teplota, ztráta tlaku nebo znečištění trysky. Problém se dá částečně vyřešit instalováním objemového čítače, který propustní námi předepsaný objem, vyžaduje to i nutnost instalace řídicí jednotky. [22]



Obr. 9) Sestava s výpustním ventilem [22]

Komponentní sestava s komorovým ventilem

Dávujeme-li stále stejným objemem je vhodné použít komorový ventil zapojený v sestavě, jak je vidět na obr. 10. Množství materiálu je pevně dáno objemem komory ventilu, popřípadě je možné komoru zvětšit, nebo zmenšit pomocí dorazového šroubu. Jedná se o volumetrické dávkování, které je nezávislé na čase, a tedy i velice přesné. Oproti výpustnímu ventilu má komorový ventil jednoznačnou výhodu v přesnosti dávky, která se pohybuje v toleranci $\pm 3\%$. Zvládne dávkovat v objemech 0,001 až 3 ml. Podstatnou výhodou oproti výpustnímu ventilu je, že nedochází k roznášení materiálu. Nevýhodou je omezený objem dávky, kdy lze maximálně dávkovat množství 100 ml. [22]



Obr. 10) Sestava s komorovým ventilem [22]

2.7.3 Manipulační výstupní hlavice

Manipulační výstupní hlavice jsou určeny k uchopování objektů a jeho přesunu. Části hlavic, které jsou bezprostředně ve styku s přenášeným předmětem se nazývají „úchopné prvky“. Podle typu styku s objekty se úchopné prvky dělí na:

- mechanické
- magnetické
- podtlakové

Současně je možné je dělit na pasivní a aktivní úchopné prvky. Rozdíl mezi nimi je ten, že pasivní úchopné prvky nemohou samy o sobě ovládat úchopnou sílu, zatímco aktivní ji ovládat mohou. Úchopné hlavice vytvořené z pasivních prvků jsou často konstruovány tak, že mohou předmět uchopit, ale k jeho následnému uvolnění je zapotřebí vnějšího zásahu.

Podle všech těchto kritérií dělíme úchopné prvky:

- mechanické
 - pasivní (pevné a stavitelné opěry, pružné a odpružené čelisti)
 - aktivní (s hydromotorem, s pneumotorem, s elektromotorem, s elektromagnetem)
- magnetické
 - pasivní (permanentní magnety)
 - aktivní (elektromagnety)
- podtlakové
 - pasivní (deformační přísavky)
 - aktivní (s vývěvou, s ejektorem)
- speciální

V této bakalářské práci se zaměříme na podtlakové úchopné prvky, které využijeme při tvorbě pracoviště. [20]

Pasivní úchopné prvky podtlakové

Mezi takovéto prvky patří pružné deformační přísavky. K uchopení objektu se využívá podtlaku vytvořeného přísavkou. Přísavka se přitlačí na povrch předmětu, její stěny se zdeformují a tím se vytlačí vzduch a zmenší vnitřní objem přísavky. Stěny přísavky mají tendenci se vracet do původní polohy, tím dojde k menšímu podtlaku a ten se při přemísťování uchopeného předmětu ještě zvýší. Uchopený předmět se nejlépe z přísavky uvolňuje pohybem v tangenciálním směru, nebo skrze pomocný ventil, je-li jím přísavka vybavena. [20] Takové typy přísavek se hojně využívají při ručním přenášení skleněných tabulí (obr. 11).



Obr.11) Přísavka pro přenos skleněných tabulí [23]

Aktivní úchopné prvky podtlakové

K takovým prvkům se řadí podtlakové systémy, které se též označují jako podtlakové komory a k vytváření podtlaku využívají ejektory nebo vývěvy. Ejektor (obr. 12 a) je proudové čerpadlo, které za pomoci tekutého nebo plynného média vytváří podtlak. Jedná se tedy o odsávací nebo čerpací zařízení. Základní konstrukce ejektoru je tryska, označována též jako Lavalova nebo Venturiho tryska zakončená jedním nebo více difuzory. Do trysky se přivede stlačený vzduch pomocí kompresoru, nebo z tlakové nádoby, ten projde difuzorem (zúžením), tím se několikanásobně zrychlí rychlost proudění a v úzké mezeře mezi tryskou a difuzorem vznikne podtlak, kterým je nasáván vzduch. Toto místo je připojené k podtlakové komoře (přísavce). Ejektory se nejčastěji vyrábějí buď jednostupňové nebo více stupňové, které vytváří vyšší podtlak. Dalším zařízením určené k vytváření podtlaku je vývěva. Vývěva je činností podobná kompresoru, a to ve výtlaku, kterým naopak vytváří podtlak. Rozdíl mezi ejektorem a vývěvou je, že ejektor nemá žádný pohyblivý díl, podtlak vzniká přivedením stlačeného vzduchu na trysku, oproti tomu vývěva vytváří podtlak rotací šroubu (vrtulky). [24] Velikost podtlaku vývěvy se pohybuje mezi 30 až 80 kPa, záleží na její konstrukci. Ejektor se používá v kombinaci s podtlakovými komorami, buď jsou všechny podtlakové komory připojené na jeden ejektor, nebo každá zvlášť a v poslední řadě může podtlaková komora s ejektorem tvořit jeden celek viz. obr. 12 b. [20]

2.7.4 Porovnání ejektoru a vývěvy

Výhodami vakuových ejektorů jsou malé rozměry, s čím souvisí nízká cena a také nízká hmotnost. Jsou prakticky bezúdržbové, protože se minimálně opotřebovávají. Vynikají rychlou reakcí s krátkým náběhem a doběhem. Během činnosti nevytváří teplo a mohou být namontovány v jakémkoliv poloze.

Podstatnou výhodou u vakuových ejektorů je, že spotřebovávají energii jen v době, kdy jsou zapnuté. Funguje to tak, že během činnosti po vytvoření požadovaného tlaku se ejektory vypnou a opětovně zapnout až po klesnutí tlaku pod danou mez. Podtlak se sleduje pomocí čidla. Nevýhodou ejektorů je velká spotřeba stlačeného vzduchu a také neschopnost odsávat velkým průtokem vzduchu, což při odsávání velkého objemu vzduchu způsobuje vyšší náklady. Obecně se proto ejektory používají pro menší úchopné hlavice. [24]



Obr. 12) a) Samostatný ejektor [25], b) Přísavka s vestavěným ejektorem [26]

Vývěvy se vyznačují velkou kapacitou sání, a proto se používají při manipulaci s porézním materiálem, u kterého je zapotřebí při sání velkého průtoku. U vývěv s mechanickým výtlakem je možné vytvořit podtlak až na úroveň 98 % vakua, což představuje oproti ejektorům podstatně vyšší hodnotu. Vícetupňové ejektory jsou schopny vytvořit podtlak do 85 % vakua. Nevýhodou elektromechanických vývěv je prakticky nepřetržitá činnost po dobu pracovního provozu. Z tohoto pohledu je nutné trvalé elektrické napájení a od toho se odvíjí i vysoké energetické nároky. Obecně jsou vývěvy ve srovnání s ejektory větší, těžší a dražší. V souhrnu celé porovnání ilustruje Tab. 1. [24]

Tab. 1) Porovnání ejektoru a vývěvy [24]

GENERÁTORY PODTLAKU		
JEDNOSTUPŇOVÉ EJEKTORY	VÍCESTUPŇOVÉ EJEKTORY	VÝVĚVY
KOMPAKTNÍ A LEHKÉ	STŘEDNÍ VELIKOST A HMOTNOST	VELKÉ A TĚŽKÉ
RYCHLÁ REAKCE	STŘEDNĚ POMALÁ REAKCE	-
NEJMENŠÍ PRŮTOK	STŘENÍ PRŮTOK	NEJVĚŠÍ PRŮTOK
NEJNIŽŠÍ POŘIZOVACÍ NÁKLADY	STŘEDNÍ POŘIZOVACÍ NÁKLADY	NEJVYŠŠÍ POŘIZOVACÍ NÁKLADY
BEZ ÚDRŽBY	CITLIVĚJŠÍ NA NEČISTOTY	NEJVYŠŠÍ NÁKLADY NA ÚDRŽBU

2.8 Řídící jednotky

Neodmyslitelnou součástí každého systému je řídící jednotka. V automatizaci je takových jednotek spousta a každá plní zadanou roli. V našem případě se bavíme o řídící jednotce dávkování a jednotce samotného robota. Dávkovací jednotka (obr. 13) koordinuje aktivitu systémových komponent a jejich vzájemnou komunikaci. Mezi systémové komponenty řadíme dávkovací ventily, zubové průtokoměry, tlakové snímače a jiné kontrolní komponenty. Signály z těchto komponent putují do softwaru a ten je vyhodnocuje. Zde se také vytvářejí dávkovací programy a zároveň se dají i uložit. [27] U robota je řídící jednotkou robotický kontrolér, který se stará o řízení pohybu robota. Při realizaci pracoviště určeného k nanášení lepidla za pomoci lepidla jsou tyto dvě řídící jednotky propojeny a vzájemně spolu interagují.



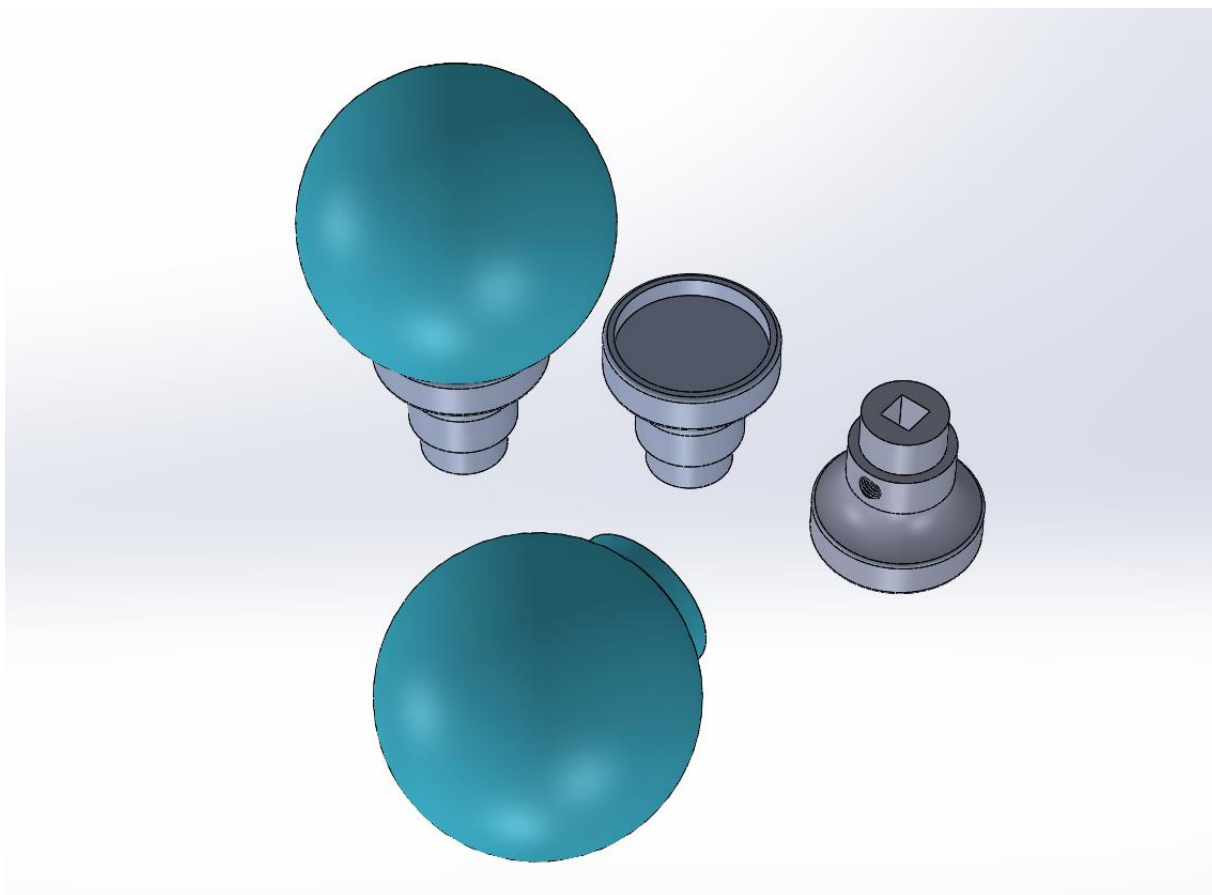
Obr. 13) Řídící dávkovací jednotka [27]

3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Pracoviště má sloužit k výrobě kliky od dveří, kdy využívá spolupráce robota a člověka. Znamená to, že se jedná o kolaborativního robota, který nanáší lepidlo a člověk doplňuje součástky, kompletuje, čistí jednotlivé díly, a tudíž se stará o předúpravu povrchu.

3.1 Popis výrobku

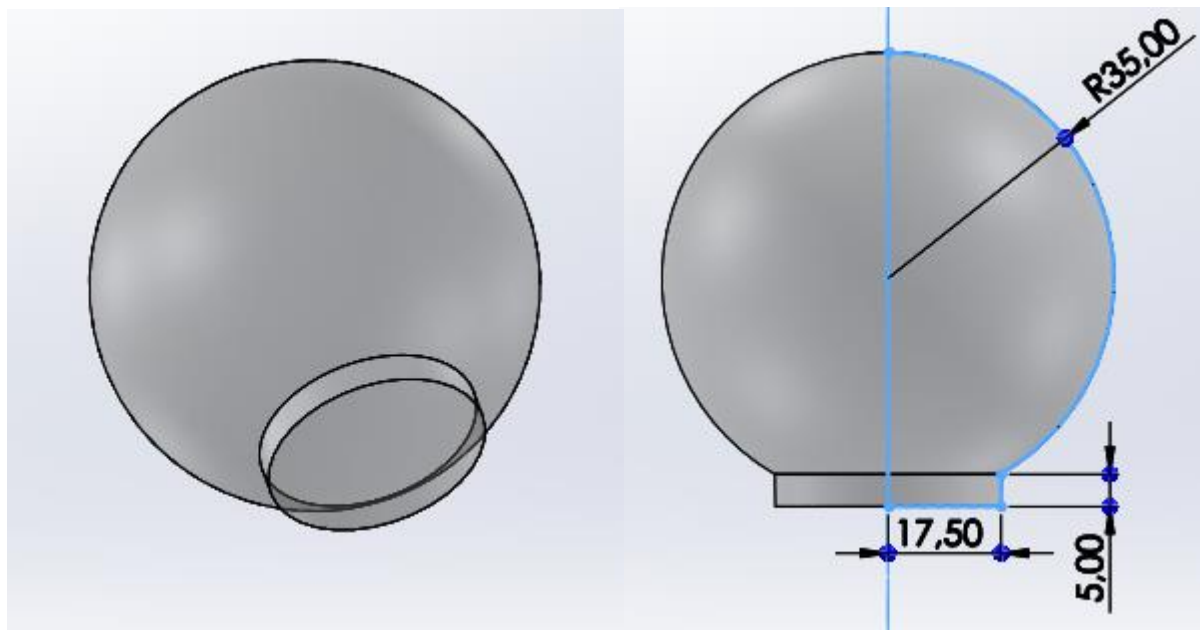
Jedná se o kovo-skleněnou kliku, určenou k otvírání vstupních dveří. Je složená ze dvou částí podstavy a skla. Obě části jsou k sobě přilepeny lepidlem na bázi akrylátu, které se v dnešní době běžně využívají k lepení skla a kovu. Výhodou takových lepidel je jejich vysoká pevnost, rázová odolnost a schopnost spojovat i silnější spáru. Zároveň jsou vhodné i pro venkovní použití, protože mají dobrou odolnost prostředí. Jsou použitelné v rozmezí teplot $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je v našich běžných podmínkách bezproblémové. Dále jsou čiré, a to je v této kombinaci, kdy budeme lepit sklo s kovem žádoucí. [28] Na obr. 14 je její zjednodušený model zobrazující její jednotlivé části i sestavu.



Obr. 14) Návrh kliky

3.1.1 Skleněná část

Skleněná část je z lisovaného skla, které se dá dále upravovat dle požadavku zákazníka. Na obr. 15 se jedná o zjednodušený model. Válcový výstupek je část, která bude přilepena do drážky podstavy. Před přilepením se tato část očistí od mastnot a jiných nečistot, aby tím byla připravena k procesu lepení a lepidlo dobře přilnulo. Rozměry skleněné baňky jsou navrženy tak, aby dobře pasovala do ruky a dobře se s ní otvíraly vstupní dveře. Primárně budeme v této práci pracovat s tímto jedním modelem, ale zároveň budeme počítat s více možnostmi variant, které by se mohly nalepit na podstavu. Na obr. 16. jsou vidět další dvě možné varianty.



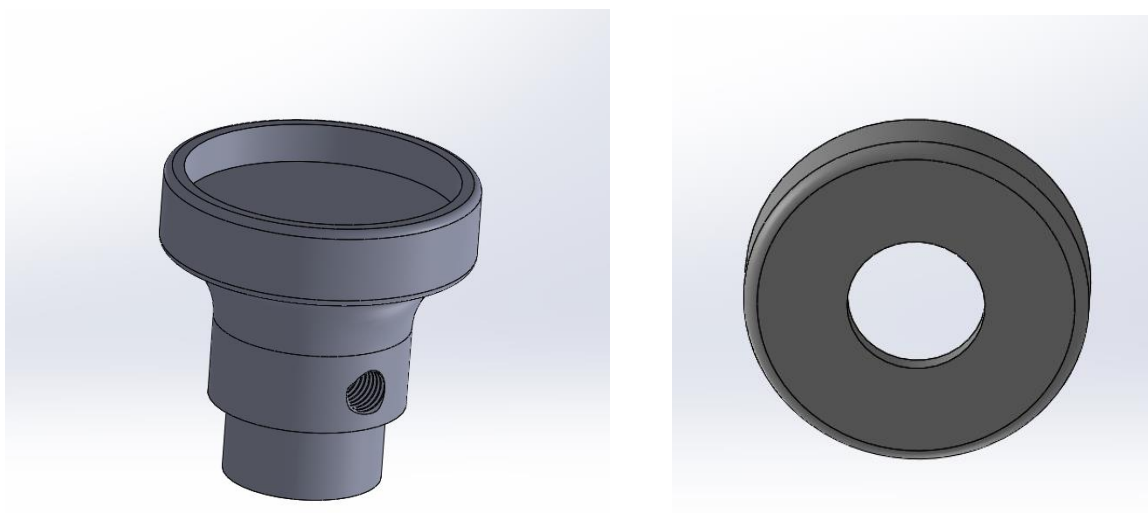
Obr. 15) Návrh skleněné části



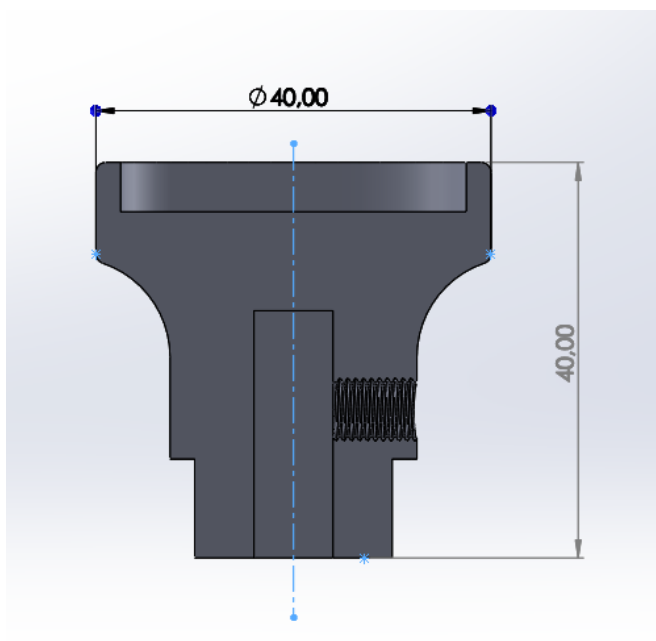
Obr. 16) Další možné varianty skleněné části

3.1.2 Podstava

Podstava kliky je navržena ze zinkované oceli, která ji dává příslušnou pevnost. Rozměry podstavy jsou na výšku 40 mm a v průměru taky 40 mm. V horní části je vybrání, do které se robotem nanese lepidlo a vloží skleněná část. Ze spodu má díl čtverhranný otvor, jak je nejlépe vidět výše na obr. 14, do kterého patří čep, který se aretuje stavěcím šroubem s vnitřním šestihranem a hrotem. Přidá se krytka obr.17 b, podstava s čepem se vloží do zámku a ze druhé strany se opět přidá krytka s podstavou. Konstrukce je vytvořena tedy tak, aby se dala použít do standardizovaných zámků a pro různé tloušťky dveří. Přesnost rozměrů podstavy se vyžaduje v řádu setin milimetrů, kvůli práci robota, který na ni bude nanášet lepidlo a aby bylo správně nanesené je potřeba zachovat aspoň takovou přesnost.



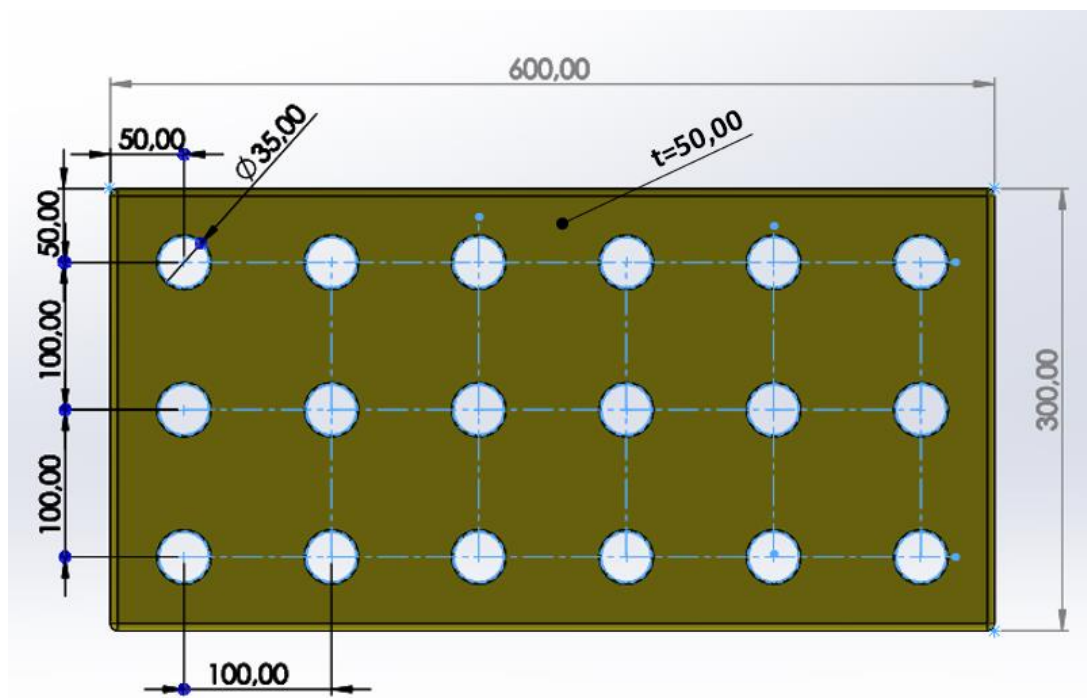
Obr. 17) a) Návrh podstavy, b) Krytka



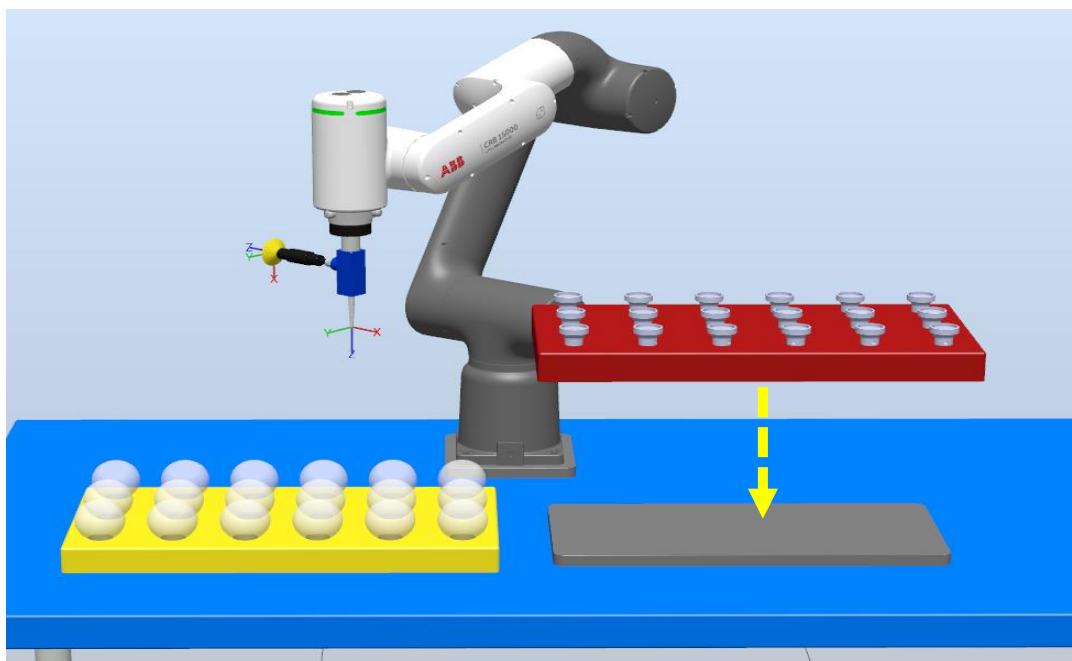
Obr. 18) Řez podstavy

3.2 Paletky na podstavu a skleněnou část

Pro přepravu jednotlivých dílů a jejich kompletaci (podstava, skleněná část) byly navrženy dvě plastové paletky, jedna pro sklo a druhá pro podstavu, která je parametricky totožná s paletkou pro sklo, jen průměry děr jsou jiné a to 25,00 mm. Rozměry paletky pro sklo jsou uvedené na obr 19. Opět se dbalo na přesnost paletky, to znamená její rozměrová přesnost a přesnost děr, do kterých se vloží jednotlivé díly. Je potřeba, aby její přesnost byla v řádu setin milimetrů, tak aby se docílilo hladkého nanášení lepidla. Paletky mají ze spodní části osazení, kterým jsou usazovány na šablonu (obr. 20), čímž se dosáhne požadovaného vymezení polohy vůči robotu.



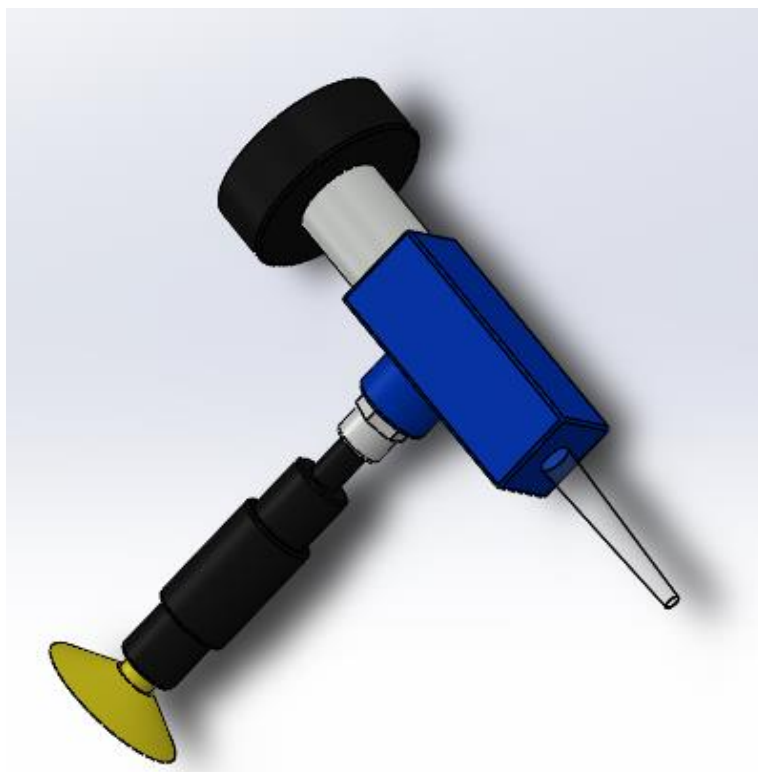
Obr. 19) Plastová paletka pro sklo



Obr. 20) Šablona, na kterou se umístí paletka

3.3 Návrh efektoru

Efektor se skládá ze dvou částí, komorového dávkovacího ventilu, který realizuje proces nanášení lepidla a druhou částí je přísavka, která slouží k uchopování skleněných baněk, a která je prostřednictvím hadic připojená ke dvoustupňovému ejektoru. Ejektor má vestavěný snímač vakua s funkcí šetření energie, to znamená že při dosažení potřebného vakua se přívod stlačeného vzduchu automaticky vypne. Zapínání a vypínání ejektoru je řešeno digitálně, kdy z robotu je vyslaný signál, který aktivuje/deaktivuje spínač ejektoru, který je propojený s tlakovým snímačem. Na obr. 21 je vyobrazený zjednodušený model, v praxi je taková součást mnohem komplexnější, doplněná např. o vstupy pro hadičky k ejektoru nebo o dorazový šroub u komorového dávkovacího ventilu.



Obr. 21) Zjednodušený model efektoru

3.4 Sestava lepícího dávkovacího systému

Pro pracoviště byla vybrána komponentní sestava s komorovým dávkovacím ventilem. Skládá se tedy z řídicí jednotky dávkování lepidla, která je propojená s kontrolorem robota. Pro předzásobení lepidla se zvolila varianta v sudu, ze kterého je lepidlo čerpáno sudovým pístovým čerpadlem a dopravováno přes hadičky do komorového dávkovacího ventilu. Za pomoci tlakového regulátoru řídí dávkovací jednotka proces dávkování, a to tím že zapíná a vypíná pístové čerpadlo a regulátor snižuje tlak čerpaného materiálu na požadovanou hodnotu a také zajišťuje dokonalý stabilní a kontinuální tok materiálu. Zároveň řídicí dávkovací jednotka ovládá dávkovací ventil.

3.5 Výběr robota

Při výběru robota se kladl důraz na jeho nosnost, protože ponese efektor, kabeláž k ovládání dávkování lepidla a také hadice určené k dopravě lepidla. Všechno toto příslušenství něco váží, a proto je nutné zohlednit tyto požadavky při jeho výběru. U výběru je také potřebné zvážit pracovní dosah robota čili zaměřit se na délku ramen. Řeší se také vhodnost pro danou aplikaci, ne všechny roboty jsou vhodné pro prašné prostředí, nebo prostředí, kde se nanáší barva atd. Důležitá je také přesnost robota. Dalším aspektem výběru robota je bezpečnost. Roboty jsou stroje a případný kontakt s člověkem je fatální. V případě konvenčních průmyslových robotů se bezpečnost řeší instalací bezpečnostních prvků, jako jsou fyzické bariéry nebo ochranné oplocení, které brání vstupu osob do pracovní oblasti robota. Také se hojně využívají pohybová čidla, která při zaznamenání pohybu robot zastaví. Druhou variantou jsou kolaborativní roboty, které jsou navrženy tak, aby spolupracovaly s člověkem a nezpůsobily mu zranění. Proto u takových robotů není nutná instalace bezpečnostních prvků, a to vytváří i jistou finanční úsporu.

V případě našeho pracoviště byl vybrán kolaborativní robot CRB 15000 GoFa™ (obr.22) od společnosti ABB, a to na základě skutečnosti, že bude využitý pro malosériovou výrobu a firmu, která teprve začíná s automatizací, a je to její první zkušenost s roboty. Zaměstnanci takové firmy budou sdílet pracovní prostor s robotem a spolupracovat s ním při vykonávání zadaných úkolů. CRB 15000 GoFa™ je robot s nosností do 5 kg, v našem případě je to dostačující. Každá z jeho šesti os je vybavena inteligentními senzory krouticího momentu, a to nabízí robotu možnost kontroly, omezení výkonu a sil. To je důležité při kontaktu ramene robota s pracovníkem, protože v této situaci senzory zaznamenají kolizi a stroj ihned zastaví. Robot se snadno nastavuje za pomoci grafických aplikací ve FlexPendantu, nebo lze využít ručního navádění uchopením kterékoliv části robota. Můžeme také využít softwaru RobotStudio od té samé společnosti a vytvořit si dopředu program s virtuálním zprovozněním robota. Robot GoFa má i nadstandardně dlouhý dosah ramen a to 950 mm. Také disponuje na kolaborativního robota vysokou maximální rychlostí TCP (středový bod nástroje) do 2,2 m/s. Při výběru robota jsme se také zaměřili na jeho opakovatelnou přesnost při operacích, která je u tohoto typu robota 0,05 mm, což je dostatečné pro naši aplikaci. [29]



Obr. 22) Robot CRB 15000 GoFa™ [29]

3.6 Kontrolér robota a FlexPendant

Pro robota byl vybrán nejnovější kontrolér OmniCore C30 (obr. 23) od společnosti ABB. Výhodou tohoto kontroléru je jeho malý rozměr, který ušetří místo a je tak ideální pro stolní využití. Kontrolér nabízí široké ovládání pohybu a dle firmy ABB patří k nejlepším kontrolérům ve své třídě. Kontrolér disponuje novým operačním systémem RobotWare 7 a je k němu přidán i nový intuitivní FlexPendant s dotykovým displejem (obr. 23). [30]



Obr. 23) OmniCore C30 a FlexPendant s dotykovým displejem [30]

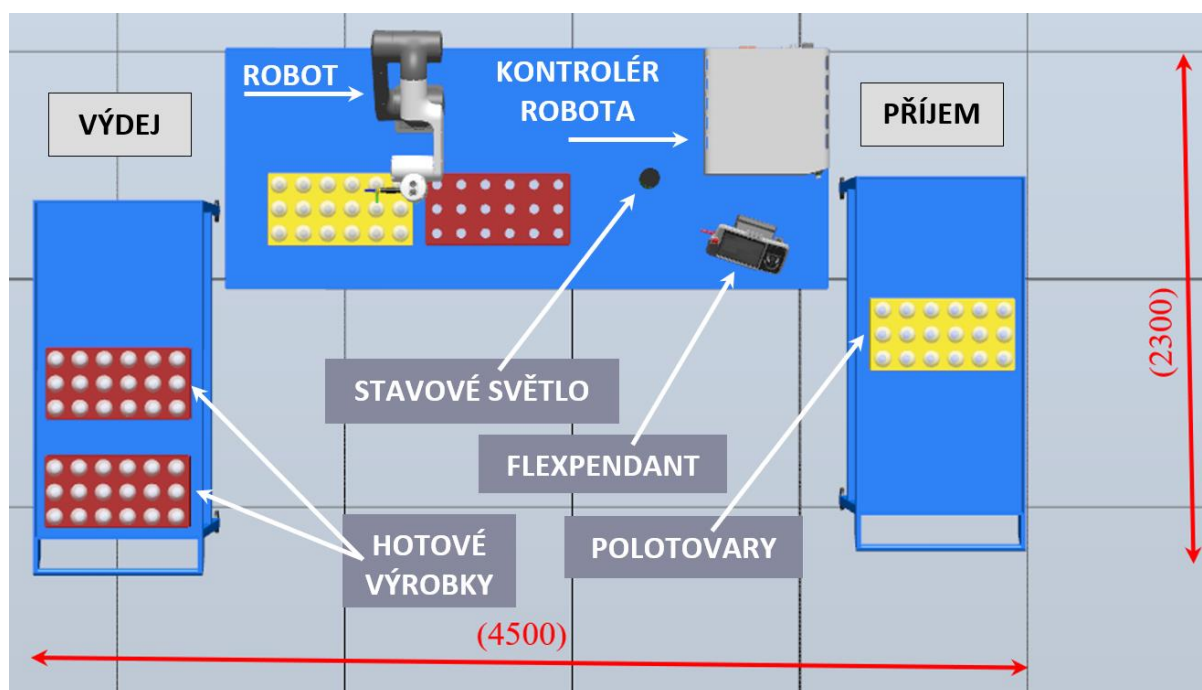
4 VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ

4.1 Návrh pracoviště

Pracoviště viz. obr. 24 je navrženo pro malosériovou výrobu, do firmy, která začíná s robotizací a je určeno ke kompletaci kliky, slepením obou výše popsaných dílů. Z tohoto důvodu byl vybrán kolaborativní robot a použit k nanášení lepidla, což je technicky náročnější operace, která v případě člověka vyžaduje dlouholetou zkušenost a jistou zručnost. Je totiž obtížné ručně nanést rovnoměrnou vrstvu lepidla, přesně jej aplikovat na potřebné místo, a přitom jím neumazat okolí. Implementování robota v tomto případě znamená i ušetření času potřebného ke slepení dílů, tím se znásobí výroba a ve výsledku ušetří náklady.

Pracoviště je flexibilní a počítá se změnami výrobků, tím je myšleno, že není určeno jen pro jeden typ tvaru a velikosti skleněných částí. U těch se naopak předpokládá jejich častá změna. Samotný pracovní proces se skládá z několika částí, předúpravy povrchu, která je realizována pracovníkem ještě před uložením do palet. Dále pracovník přiveze paletky a stará se o jejich výměnu z pracoviště robota. Zároveň se stará o údržbu a hladký chod robota. Převoz paletky je realizován za pomoci ručních vozíků, které obsluhuje pracovník.

Model pracoviště je vidět na obr. 24, kde je vpravo vedle pracovního stolu místo pro příjem polotovarů uložených na paletkách a vlevo pak pro výdej hotových klik. Kontrolér robota je vpravo horním rohu stolu. Na stole se také nachází tříbarevné stavové světlo. Klasicky zelená barva znamená, že lepidla je dostatek, oranžová upozorňuje na nízkou hladinu lepidla, červená signalizuje krizovou situaci, jako je např. chybějící skleněná baňka na paletce.



Obr. 24) Návrh robotizovaného pracoviště

4.1 Tvorba programu

Virtuální zprovoznění pracoviště bylo vytvořeno v softwaru RobotStudio od společnosti ABB, za použití programovacího jazyku RAPID, který je kompatibilní s kontrolérem OmniCore C30 a obecně tento jazyk využívá společnost ABB pro všechny její kontroléry. Všechny pohyby a trajektorie robota jsou převedeny v RobotStudiosu do RAPID a tady jsou editovány v textové podobě.

4.1.1 Popis vytvořeného programu

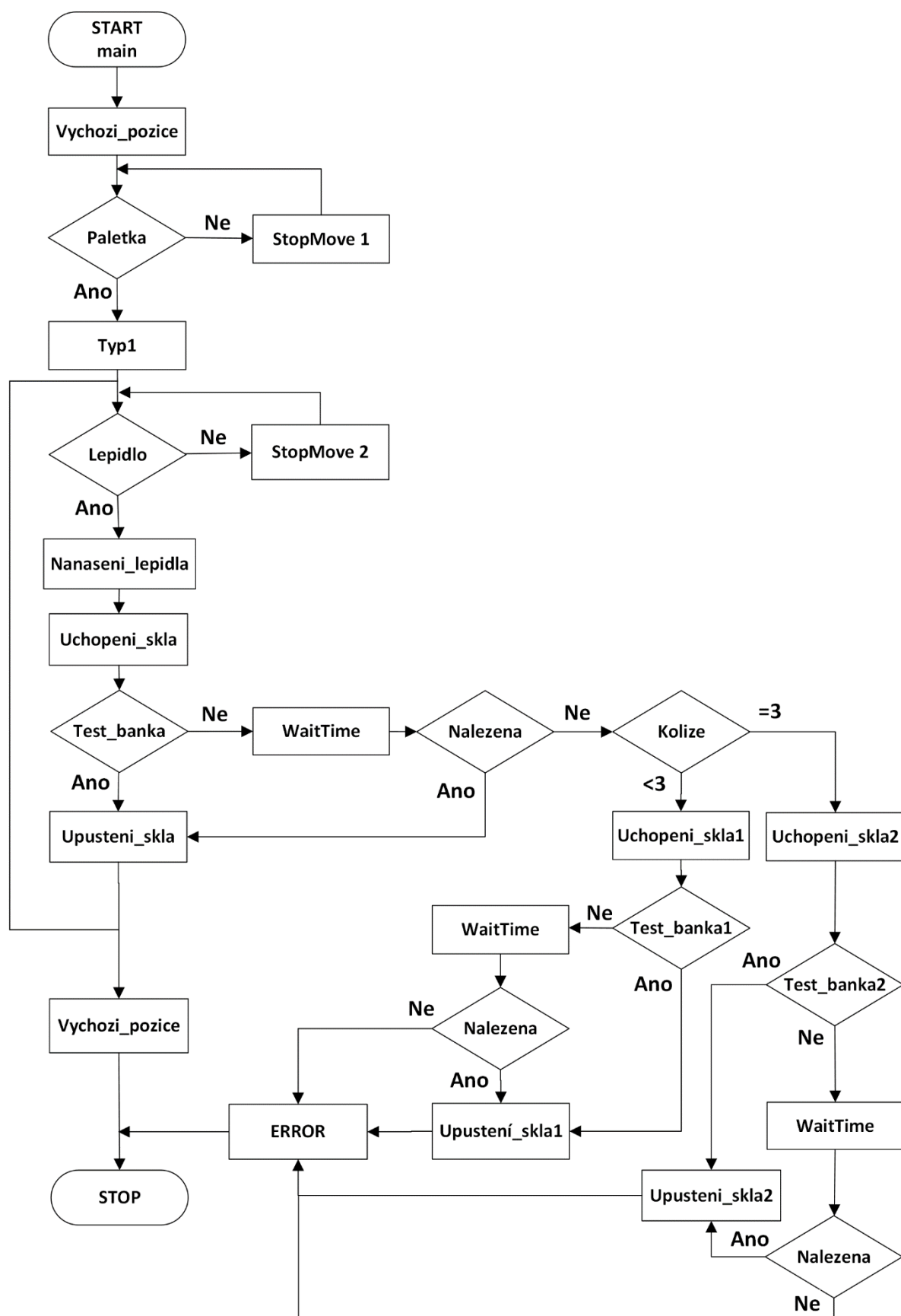
Pro názornější pochopení, jak program robota funguje, je vytvořen vývojový diagram programu (viz. Obr. 25).

Začíná se startem hlavní rutiny „*main*“, po startu robot najede do výchozí pozice „*Vychozi_pozice*“ a následuje první operace „*Paletka*“, v té se rozhoduje, zda jsou paletky na svém místě. Pokud je na vstupu kontroléru přítomna 1 („*Paleta_sensor=1*“), pak to znamená, že paletky nejsou na svém místě a robot zastavuje pohyb, přivolá obsluhu červeným světlem a stojí do chvíle, než jsou paletky správně umístěny („*Paleta_sensor=0*“).

Po vyhodnocení přechází na další proceduru „*Typ1*“ to znamená, že se budou kompletovat skleněné baňky a podstava tvarového typu 1. V případě změny výroby a kompletací jiných tvarových dílů, jsou v programu RAPID naprogramované další dvě situace „*Typ2*“ a „*Typ3*“. Pokud tedy dojde ke změně výroby, stačí přepsat např. „*Typ1*“ na „*Typ2*“. V tomto případě pracujeme s typem 1. Dále následuje vyhodnocení dostateku lepidla, operace „*Lepidlo*“, jeli ho dostatek pokračuje se dál a svítí zelená kontrolka na stavovém světle. V opačném případě, je zastaven pohyb robota a stavovým oranžovým světlem přivolána obsluha. Po doplnění lepidla sepne obsluha spínač a na vstupu kontroléru se objeví 1 (GlueIN=1), tím se robot uvede znovu do pohybu a pokračuje dál. Vyhodnocení stavu lepidla probíhá před každým novým nanesením lepidla.

Poté robot vykonává rutinní operace „*Nanaseeni_lepidla*“, „*Uchopeni_skla*“. V momentě, jak najede na polohu skleněné baňky, začne testovat, zda je baňka přítomna „*Test_banku*“. V prvním případě, když baňku přísavkou přichytil, jde na „*Upusteni_skla*“ a přilepí ji k podstavě. Odtud se posune na další pozici podstavy, baňky a zopakuje proces od vyhodnocování lepidla. Ten cyklicky opakuje, dokud všechny díly na pozicích nebudou zkompletované a pak teprve přejde do „*Vychozi_pozice*“ a stopne stroj.

Ve druhém případě, když baňku nenašel, chvíli počká, opět spustí ejektor a snaží se baňku přichytit, v případě že se povedlo, pokračuje stejným způsobem, jak v prvním případě. V případě opětovného nezdaru začne hledat baňku o pozici vedle, aby ji přilepil na podstavu, kde bylo nanášeno lepidlo, a tak nedošlo ke znehodnocení podstavy. Přejde tedy do procedury „*Kolize*“ v té rozhoduje, jestli se jedná o krajní pozici baňky, nebo v tomto případě o první a druhou. Na základě toho rozhodne, kde má baňku hledat. Dále testuje pozici baňky („*Test_banku1*“, „*Test_banku2*“) stejným způsobem, jak bylo popsáno výše, s tím rozdílem, že od tohoto okamžiku vždy skončí v proceduře „*ERROR*“ a jsou dvě možnosti, jak tam skončí. První možnost je, že najde baňku zkompletuje kliku přilepením baňky na podstavu a přejde do procedury „*ERROR*“. Druhou možností je, že baňku opět nenajde, a tak rovnou přejde do procedury „*ERROR*“. V této proceduře, zastaví stroj a přivolá obsluhu signálníkem červeným světlem, aby problém vyřešila. Celý program se pak musí spustit od začátku.



Obr. 25) Vývojový diagram programu

5 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Hlavním produktem práce je vytvořené robotizované pracoviště určené pro kompletaci kliky slepením skleněné a pozinkované ocelové části. Pracoviště je koncipováno tak, aby využívalo spolupráce robota a člověka, proto při výběru robota byl zvolen kolaborativní robot CRB 15000 GoFaTM od společnosti ABB. Použitím kolaborativního robota se ztrácí nutnost instalace bezpečnostních prvků v podobě ochranných oplocení a senzorů pohybu. Tím se snížili finanční náklady na pořízení robota, včetně všech jeho nutných příslušenství.

Byl navržen model kliky a graficky 3D zpracován. Jedná se však o jednoduchý model a tady je prostor pro jisté zlepšení a zkvalitnění designové stránky výrobku. Rovněž podstava je jednoduchá a problematickým místem může být čtverhranný čep, který je z obou stran vložený do podstavy a zaaretovaný stavěcími šrouby a není, jak bývá běžné na jedné straně zalisovaný. To může zvýšit pravděpodobnost upadnutí kliky a poškození skleněné části. Nalisování čepu by však představovalo horší manipulovatelnost s podstavami, a i konstrukčně jiné řešení vymezení polohy vůči robotu.

Efektor byl navržen tak, že se skládá ze dvou částí, přísavky a komorového dávkovacího ventilu. Tady se nabízelo i druhé řešení, že by se efektor skládal jen z přísavky. Robot by v tomto případě tedy jenom uchytí skleněnou baňku a přijel by s ní k pevně fixovanému dávkovacímu ventilu, kde by obkroužil požadovanou trajektorii a při tom se nanese lepidlo. Následně by robot baňku přilepil k podstavě. Výhodou takového způsobu je, že robotu ubude váhová zátěž v podobě komorového dávkovacího ventilu a jeho příslušenství (přívodní hadičky). Nevýhodou je, že lepidlo není nanášeno na podstavu, kde je pro tento účel vytvořené vybrání, a tak pro lepidla s nízkou viskozitou by tato varianta nebyla vhodná. Při přesunu baňky s naneseným lepidlem by lepidlo kapalo, a to je nežádoucí. To byl hlavní důvod, proč byla vybrána první varianta.

V rámci digitálního zprovoznění se podařilo vytvořit pro dané pracoviště program, který řídí robota při sestavení kliky. V programu je vyřešeno několik krizových situací, které robot zvládne vyřešit. Mezi ně patří situace, kdy dojde lepidlo, při ní se robot zastaví a skrze světelný signál přivolá obsluhu, aby lepidlo doplnila a poté pokračuje v práci. Stejně tak jedná i v případě, že instalovaný senzor nezaznamenal paletku s díly. Dokáže zvládnout i situaci, kdy na jednom místě chybí skleněná baňka, a tak přejde o pozici dál, kde se ji snaží přichytit, pokud se mu to podaří přenese ji na místo, kde nanese lepidlo a přilepí ji. Poté zavolá obsluhu, aby vyřešila vyvstalý problém. V této části by se dal program vylepšit, aby robot pokračoval dál a bez té jedné baňky sérii dokončil. Z tohoto pohledu vyvstávají však další otázky a problémy, kdy ve výsledku takový krok by mohl být kontraproduktivní a také by to znamenalo instalaci více čidel, což opět prodražuje cenu robota. Proto varianta, kdy se robot zastaví, přivolá obsluhu, ten doplní chybějící díly a zpustí celý proces od začátku se jeví jako jednoduché řešení.

V bakalářské práci nebyla uvažována toxicita lepidel a jejich případné odsávání, a to z důvodu použití malých dávek lepidla, kdy toxicita lepidel je nižší a není tak úplně podstatná. V praxi je však nutné s touto skutečností počítat a pomocí odsávání ji vyřešit.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo napsat řešerši zadané problematiky, poznatky z ní aplikovat v systémovém rozboru a navrhnout robotizované pracoviště určené k nanášení lepidla na malé díly, provést virtuální zprovoznění pracoviště v softwaru RobotStudio a vyhodnotit dosažené výsledky.

První část práce je řešeršní, zaměřená na automatizaci průmyslu, průzkum aktuálních poznatků v oblasti robotů a na popis dávkovacího systému lepidel. V této části se nejprve popisuje automatizace ve světě a její rapidní nárůst v podobě počtu vyrobených robotů. Pokračuje se průzkumem největších světových výrobců robotů, ze kterých vzešel dosavadní favorit, a to společnost ABB. Dále se pojednává o komponentách robotizovaného pracoviště a o dávkovacím systému lepidel. Pokračuje se popisem možností předzásobení materiálem v podobě sudů, tlakových nádob nebo kontejnerů. Zmíněná jsou čerpadla a ve větší míře je zaměřeno na efektory, a to především na technologické a manipulační, které jsou podstatné pro tuto práci. U technologických výstupních hlavic byly rozebrány tři základní, a to jehlové dávkovací ventily, komorové ventily a výpustné ventily. Část o manipulačních výstupních hlavicích je zaměřena na úchopné prvky podtlakové a jejich spojení s efektory a vývěvy.

Ve druhé části jsou získané poznatky z řešeršní části aplikovány na vytvoření robotizovaného pracoviště pro malosériovou výrobu. Pracoviště bude kompletovat dva díly kliky, skleněnou část (baňku) a pozinkovanou ocelovou podstavu. Využívá spolupráci robota a člověk, robot nanáší lepidlo a kompletuje díly, člověk se stará o předúpravu materiálu, doplňování polotovarů a odebrání hotových součástek. U pracoviště se předpokládá častá změna výroby, kdy se mění tvar a velikost skleněných částí (baněk) a podstavy. Byl vytvořen návrh kliky v podobě zjednodušeného modelu a byly popsány její jednotlivé díly. Vyřešil se přesun dílu na pracoviště, kdy díly jsou uloženy v plastových paletkách a na místo dováženy pomocí ručních vozíků. Dále se pokračovalo modelovým návrhem efektoru, výběrem robota, tak aby splňoval stanovené požadavky.

V programu Solidworks byl vytvořen 3D model pracoviště a následně importován do softwaru RobotStudio, ve kterém probíhalo virtuální zprovoznění pracoviště. Což byla podstatná věc, protože bez takového modelu by offline programování robota bylo přinejmenším velice obtížné, a zároveň ne tak intuitivní. Zároveň jsme díky tomu získaly i jistou vizuální představu o podobě pracoviště, což je podstatné pro jeho popis a prezentaci. V rámci virtuálního zprovoznění byl sestaven vývojový diagram a v programovacím jazyku RAPID napsán program pro ovládání robota. Program byl testován prostřednictvím simulace v RobotStudio, následně dolazen a dokončen. Tím byly vyčerpány a splněny zadané cíle bakalářské práce.

7 BIBLIOGRAFIE

- [1] Jak rozumět konceptu Průmysl 4.0. *Spcr.cz* [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.spcr.cz/aktivita/z-hospodarske-politiky/12973-jak-rozumet-konceptu-prumysl-4-0>
- [2] Jak funguje chytrá továrna. *Ihned.cz* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://archiv.ihned.cz/c1-65344610-jak-funguje-chytra-tovarna>
- [3] KREJCI, Jan a Michal AMBLER. Průmysl 4.0: národní, firemní a akademické přístupy: národní, firemní a akademické přístupy. *Contemporary Europe*. 2017, 2017(2), 46-62. ISSN 18041280. Dostupné také z: <https://sev.vse.cz/artkey/sev-201702-0003.php>
- [4] IFR presents World Robotics Report 2020. *Ifr.org* [online]. [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/record-2.7-million-robots-work-in-factories-around-the-globe>
- [5] COVID-19: An inflection point for Industry 4.0. *Mckinsey.com* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/covid-19-an-inflection-point-for-industry-40>
- [6] Operation stock of industry robots - World. In: *Ifr.org* [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: https://ifr.org/downloads/press2018/Worldwide_Operational_Stock_WorldRobotics2020_graph.jpg
- [7] Annual installations of industrial robots -World. In: *Ifr.org* [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: https://ifr.org/downloads/press2018/Worldwide_Installations_2009_2019_WorldRobotics2020_graph.jpg
- [8] Leading companies in the global industrial robot market in 2019, based on revenue (in million euros). *Statista.com* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/257177/global-industrial-robot-market-share-by-company/>
- [9] 15 největších robotických firem na světě. *Orobotice.cz* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.orobotice.cz/15-nejvetsich-robotickych-firem-podle-webu-insider-monkey/>
- [10] World's Top 10 Industrial Robot Manufacturers. *Marketresearchreports.com* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.marketresearchreports.com/blog/2019/05/08/world%E2%80%99s-top-10-industrial-robot-manufacturers>
- [11] Historie ABB jako celosvětové společnosti se začala psát již před více než 120 lety. *Abb.com* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://new.abb.com/cz/o-nas/historie>
- [12] Naše organizace. *Abb.com* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://new.abb.com/cz/o-nas/divize>

- [13] ABB Robotika. *Abb.com* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs>
- [14] PLNOU ROBOTIZACI TOVÁREN PŘEDEJDE FÁZE SPOLUPRÁCE ČLOVĚKA A ROBOTA. *Svetprumyslu.cz* [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://svetprumyslu.cz/2019/10/07/plnou-robotizaci-tovaren-predejde-faze-spoluprace-cloveka-a-robota/>
- [15] Komponentní sestava s výpustním ventilem. In: *Dopagcz.com* [online]. [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.dopagcz.com/aktualne/volba-spravneho-systemu-na-1k-davkovani/>
- [16] MOST COMMON PACKING SIZES. In: *Adhest.eu/* [online]. [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: https://adhest.eu/wp-content/uploads/2018/12/Katalog_Kiilto_D%C5%99evo_18.pdf
- [17] Nerezová kvalitní tlaková nádoba. In: *Hotair.cz* [online]. [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: https://www.hotair.cz/detail/davkovace-tekutych-pripravku/tlakove-nadoby-nadrze/tlakovy-zasobnik-nadoba-k-davkovacum-10l-celonerezova.html?gmc&gclid=CjwKCAjwhYOFBhBkEiwASF3KGBHYBICrVL5EOrNQRbOdC6y3mp3LNIbyglw0S1gy5yld95RhyNfEvxoCh5oQAvD_BwE
- [18] Zubová čerpadla Verdergear. *Verderliquids.com* [online]. [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: https://www.verderliquids.com/cz/cs/nakup-zubova-cerpadla-verdergear/?gclid=CjwKCAjwhYOFBhBkEiwASF3KGQyL-t7htoiY0Kpw6Ww4BDHO9ppyZDY19-EA2n-sEjYxcsYi3KO7RoC1moQAvD_BwE
- [19] Sudové čerpadlo pístové. *Lubtec.cz* [online]. [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.lubtec.cz/sudove-cerpadlo-pistove-pro-lepidla-a-tesnici-hmoty>
- [20] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. První. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [21] Dávkovací ventily. *Dopagcz.com* [online]. [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.dopagcz.com/produkty/davkovaci-komponenty-a-cerpadla/davkovaci-ventily/>
- [22] Volba vhodného dávkovacího systému pro aplikaci tuků, olejů či lepidel. *Dopagcz.com* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.dopagcz.com/aktualne/volba-spravneho-systemu-na-1k-davkovani/>
- [23] Přísavka jednoručka 500. *Uni-max.cz* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: https://www.uni-max.cz/produkty/manipulace-a-skladovani/rucni-manipulatory/prisavky/prisavka-jednorucka-500?wdph=on&gclid=CjwKCAjwqLiFBhAHEiwANg9szsCooQYJNhzdL6yYPiAMzS-uQid1injFwZz8cxtWUVnReCvbe3tCBoCzOYQAvD_BwE
- [24] Porovnání skutečných nákladů na vakuové ejektory. *E-konstrukter.cz* [online]. [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/porovnani-skutecných-nakladu-na-vakuove-ejektory>

- [25] Vakuová jednotka. Samostatný ejektor / Externí vakuový rozvod s vývěvou - ZK2-A. In: *Smc.eu* [online]. [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.smc.eu/cs-cz/produkty-a-podpora/zk2-a~164877~nav>
- [26] ZHP, Přísavka s vestavěným ejektorem. In: *Smc.eu* [online]. [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.smc.eu/cs-cz/produkty-a-podpora/zhp-prisavka-s-vestavenym-ejektorem~135148~cfg>
- [27] Řídicí jednotka. *Dopagcz.com* [online]. [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.dopagcz.com/produkty/davkovaci-komponenty-a-cerpadla/komponenty-pro-monitoring-a-rizeni/ridici-jednotka/>
- [28] BRIŠ, Petr, Jiří KUBĚNA a Jan ŠTRKAŇ. *Lepení v praxi*. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0247-1.
- [29] GoFa™ CRB 15000. *Abb.com* [online]. [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/kolaborativni-roboty/crb-15000>
- [30] Kontroléry OmniCore™. *Abb.com* [online]. [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/ridici-systemy/omnicore>

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

8.1 Seznam zkratk

IFR	International Federation of Robotics
ABB	Asea Brown Boveri
TCP	Tool center point

8.2 Seznam obrázků

Obr. 1) Chytrá továrna [2]	17
Obr. 2) Počet celosvětově nainstalovaných robotů [6]	18
Obr. 3) Roční celosvětová instalace průmyslových robotů [7]	18
Obr. 4) Roční instalace průmyslových robotů na 15 největších trzích [4]	19
Obr. 5) Schéma dávkovacího systému lepidel [13], [15]	21
Obr. 6) a) IBC kontejnery [16], b) Tlaková nádoba [17]	22
Obr. 7) a) Zubové čerpadlo [18], b) Pístové sudové čerpadlo [19]	23
Obr. 8) Velikost dávky v závislosti na druhu ventilu [21]	25
Obr. 9) Sestava s výpustním ventilem [22]	26
Obr. 10) Sestava s komorovým ventilem [22]	27
Obr. 11) Přísavek pro přenos skleněných tabulí [23]	28
Obr. 12) a) Samostatný ejektor [25], b) Přísavek s vestavěným ejektorem [26]	29
Obr. 13) Řídící dávkovací jednotka [27]	30
Obr. 14) Návrh kliky	31
Obr. 15) Návrh skleněné části	32
Obr. 16) Další možné varianty skleněné části	32
Obr. 17) a) Návrh podstavy, b) Krytka	33
Obr. 18) Řez podstavy	33
Obr. 19) Plastová paletka pro sklo	34
Obr. 20) Šablona, na kterou se umístí paletka	34
Obr. 21) Zjednodušený model efektoru	35
Obr. 22) Robot CRB 15000 GoFa™ [29]	36
Obr. 23) OmniCore C30 a FlexPendant s dotykovým displejem [30]	37
Obr. 24) Návrh robotizovaného pracoviště	38
Obr. 25) Vývojový diagram programu	40

8.3 Seznam tabulek

Tab. 1) Porovnání ejektoru a vývěvy [24]	29
--	----

9 SEZNAM PŘÍLOH

2021_BP_Johech_Tomas_200192.rspag – Pack&go soubor simulace pracoviště